

Polimer Matrisli Karbon Kompozit Malzemelerin SiC Takviye Oranlarının Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Etkileri

Sidem KANER^{1*} 

¹Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/12/2023
Düzeltilme: 24/01/2024
Kabul: 04/03/2024

Anahtar Kelimeler

Karbon Kompozit
SiC
Mekanik Dayanım
Sertlik

Article Info

Research article
Received: 20/12/2023
Revision: 24/01/2024
Accepted: 04/03/2024

Keywords

Carbon Composite
SiC
Mechanical Strength
Hardness

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Çalışma kapsamında karbon kumaştan vakum infüzyon sistem ile karbon kompozit imalatı yapılmıştır. Karbon kumaşın kompozite dönüşümü sürecinde kullanılan epoksi malzemenin içerisinde farklı oranlarda eklenmiş olan SiC partiküllerin sertlik ve mekanik dayanımındaki değişimler incelenerek, iç yapı analizleri yapılmıştır. / Within the scope of the study, carbon composite was manufactured from carbon fabric with a vacuum infusion system. Internal structure analyzes were carried out by examining the changes in the hardness and mechanical strength of SiC particles added at different rates in the epoxy material used in the process of transforming carbon fabric into composite.



Şekil A: Numune Üretimi ve Deney Sürecinin Şematik Gösterimi / Figure A: Schematic Representation of Sample Production and Experimental Process

Önemli noktalar (Highlights)

- Karbon kumaş ile epoksi içerisine SiC takviyesi yapılarak karbon kompozit imalatı yapılmıştır. / Carbon composite was manufactured by reinforcing SiC into epoxy with carbon fabric.
- Farklı SiC oranlarının karbon kompozitteki sertlik ve mekanik dayanım değer değişkenlikleri incelenmiştir. / Hardness and mechanical strength value variations in carbon composites of different SiC ratios were examined.
- Elde edilen numunelerin iç yapılarında SiC yapının dağılımı ve etkileri gözlenmiştir. / The distribution and effects of the SiC structure in the internal structures of the obtained samples were observed.

Amaç (Aim): SiC'ün farklı takviye oranlarında kullanılarak karbon kompozitin sertlik ve mekanik değerlerindeki değişimi incelenmiştir. / The change in hardness and mechanical values of carbon composite was examined by using SiC at different reinforcement ratios.

Özgünlük (Originality): Karbon kompozit içerisinde epoksi matris içerisine yerleşen yapıların ıslanabilirliği birleşim açısından zor bir süreçtir. Farklı oranlarda kullanılan SiC partiküller için optimum oranda birleşim ile istenilen ıslanabilirlik sağlandığı için mekanik dayanım değerlerindeki artış sağlanmıştır. / The wettability of the structures placed in the epoxy matrix in carbon composite is a difficult process in terms of assembly. Since the desired wettability was achieved with the optimum combination of SiC particles used in different ratios, the increase in mechanical strength values was achieved.

Bulgular (Results): SiC oranının artışı ıslanabilirliği olumsuz etkilediği için sertlik ve dayanım değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. / The increase in SiC ratio negatively affected wettability and caused a decrease in hardness and strength values.

Sonuç (Conclusion): En yüksek mekanik dayanım değeri ve sertlik değeri %10 SiC takviyeli karbon kompozit numunelerde elde edilmiştir. SiC oranının artışı ıslanabilirliği olumsuz etkilediği için sertlik ve dayanım değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır. / The highest mechanical strength value and hardness value were obtained in 10% SiC reinforced carbon composite samples. The increase in the SiC ratio negatively affects wettability and causes a decrease in hardness and strength values.



Polimer Matrisli Karbon Kompozit Malzemelerin SiC Takviye Oranlarının Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Etkileri

Sidem KANER^{1*} ¹Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/12/2023
Düzeltilme: 24/01/2024
Kabul: 04/03/2024

Anahtar Kelimeler

Karbon Kompozit
SiC
Mekanik Dayanım
Sertlik

Öz

Kompozit malzemeler, yüksek yapısal avantaja sahip farklı malzemelerin mukavemet başta olmak üzere farklı teknik özelliklerini bir araya getirebilen teknolojik malzemelerdir. Kompozitler, uçak ve uzay sanayi başta olmak üzere, enerji üretim sektörü, otomotiv, makine imalat gibi bir çok sektörde yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu çalışma kapsamında vakum infüzyon sistemi kullanılarak, 200 gr/cm²lik plain karbon dokuma kumaşa; takviyesiz epoksi ve SiC (%10-%15-%20 takviyeli) takviyeleri yapılmış epoksi ile kompozit numune imalatı yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik değerleri ve sertlik ölçümleri karşılaştırılmıştır. SiC takviyesi ile birlikte mekanik özelliklerin arttığı görülmüştür. Çalışmada en yüksek mekanik dayanım, %10 SiC takviyeli epoksi yapıda görülmüştür. %10 SiC takviyeli kompozit numunede mikroyapı özelliklerinin tespiti ve yapıda ilave edilen takviyelerin dağılım özelliklerinin incelenmesi için FESEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Epoksiye ilave edilen SiC takviyelerinin kompozit içinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu durum malzemenin mekanik ve metalurjik özelliklerine olumlu katkıda bulunmuştur.

Effects of SiC Reinforcement Rates on Mechanical and Metallurgical Properties of Polymer Matrix Carbon Composite Materials

Article Info

Research article
Received: 20/12/2023
Revision: 24/01/2024
Accepted: 04/03/2024

Keywords

Carbon Composite
SiC
Mechanical Strength
Hardness

Abstract

Composite materials are technological materials that can combine different technical properties, especially strength, of different materials with high structural advantages. Composites are widely used in many sectors such as the aircraft and aerospace industry, energy production sector, automotive and machinery manufacturing. High strength values can be achieved with polymer-based carbon composite materials obtained by adding epoxy. Within the scope of this study, 200 gr/cm² plain carbon woven fabric was applied using a vacuum infusion system; Composite samples were manufactured with unreinforced epoxy and SiC (10%-15%-20% reinforced) reinforced epoxy. Mechanical values and hardness measurements of the produced composite materials were compared. It has been observed that mechanical properties increase with SiC reinforcement. In the study, the highest mechanical strength was seen in the 10% SiC reinforced epoxy structure. FESEM and EDS analyses were carried out to determine the microstructural properties of the 10% SiC reinforced composite sample and to examine the distribution properties of the reinforcements added in the structure. It was observed that the SiC reinforcements added to the epoxy were distributed homogeneously within the composite. This contributed positively to the mechanical and metallurgical properties of the material.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozitler; farklı mekanik, fiziksel ve kimyasal içeriklerin aynı malzeme içinde oluşturabilmesini sağlayan birden fazla ve farklı içerikteki fazların fiziksel bir bütün oluşturduğu malzemeler olarak tanımlanabilir [1]. Kompozit malzemeler, farklı malzeme içeriklerinde ve birbirleri içerisinde çözünmeden yeni bir birleşik malzeme elde

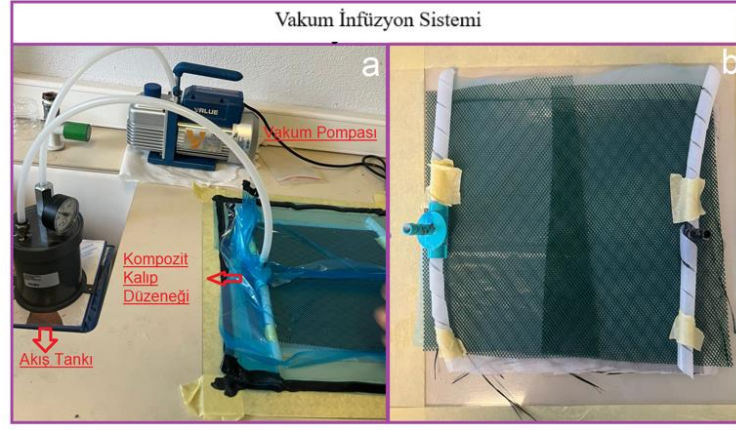
ettiğimiz üstün mekanik özelliklerdeki yapılarıdır [2]. Kompozit imalatı günümüz teknolojilerinde her geçen gün farklılaşan, gelişen bir malzeme üretim alanı haline gelmiştir. Bu kapsamda farklı malzemelerden beklenen özellikleri bir arada oluşturabildiğimiz kompozit malzeme teknolojisi üretilen standart malzemelerin alaşım ve ilave takviyeler ile daha dayanıklı hale getirilebilmesi için geniş bir çalışma alanına sahiptir. Karbon,

doğada farklı formlarda bulunan, iyi mukavemet, termal ve elektrik iletkenliği yüksek, esnek bir materyaldir [3]. Karbon atomunun doğada, fulleren, karbon nanotüp, grafit ve grafen olmak üzere dört farklı allotropu bulunmaktadır [4]. Karbon elyaf lar ağırlıkça ortalama %90 oranlarında C içeren, PAN, rayon ve ziftin kontrollü sentezi sonrasında elyaf olarak elde edilen malzemelerdir [5]. Karbon kumaş olarak kullanılan malzemeler de bu elyaf lar dan elde edilen filamentlerin dokunması veya örülmesiyle birlikte oluşur [6]. Polimer matrisli karbon kompozit malzemelerde çoğunlukla termoset bazlı polimerler kullanılmaktadır. Karbon kompozitler, karbon fiberleri birlikte tutarak, malzemeye gelen yükü fiberlere aktaran yapının dayanıklılığını arttırırken şeklinin de korunmasını sağlamaktadır. Böylece malzeme üzerine gelen yüke bağlı olarak oluşan hata ve hasar hızı düşer [6, 7]. Bu yapıda yüzey kalitesi artarak yüzey enerjisi ve ıslanabilirlik de doğru orantılı olarak artış gösterir [8]. Karbon kumaş ile polimer esaslı bir reçinenin birleşmesiyle elde edilen kompozitlerde karbonun dayanımı ve polimerin esnekliği bir araya getirilir. Bu aşamada malzemede dayanımı arttırmak, sertliğin de oransal artışını sağlayıp daha rijit yapıda mamul elde edilmesi için epoksiye eklenecek katkı maddelerinin kullanımı uygun olmaktadır. Epoksi ile birleşimler malzemenin esnek davranışına destek olsa da rijitlik istenilen alanlarda istenilen davranışı sağlayamayabilir. Bunun için karbon ile doğru bağ kurması sağlanacak katkı maddeleri kullanılmalıdır. SiC, bir çok farklı malzeme içinde alaşımlandırma veya takviye halinde kullanıldığında mekanik dayanımı olumlu olarak arttırıcı etki sağlayabilmektedir. SiC takviyesinin karbon elyaf kompozit malzeme üzerindeki etkisi incelendiğinde, kopma dayanımını azaltma etkisinin yanında, kopma gerinim değerlerine göre

kompozit malzemeyi daha sert bir ürün haline getirmektedir. SiC'ün malzeme üzerinde mekanik dayanımı arttırırken sertlik ve aşınma dayanımını da arttırdığı görülmüştür [9]. Literatür incelendiğinde, genel itibari ile epoksi içerisine farklı takviyeler yapılmış, ancak takviye malzemelerin mekanik ve metalografik özellikleri aynı anda incelenmemiştir. Çalışma sayesinde takviye edilen farklı oranlarda SiC ile mekanik özelliklerin iyileştirilebildiği anlaşılmaktadır. Çalışmada sertlik testi, çekme dayanımı testi, FESEM ve EDS analizleri yapılarak, literatürde eksik kalan boşluk doldurulmaya çalışılmıştır.

2.MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışma kapsamında, 200 gr/cm² Plain dokuma karbon kumaş kullanılmıştır. 3 kat kullanılan karbon fiber kumaşın arasında KP 410 İnfüzyon vakum sistemi ile uyumlu ortoflalik esaslı rekastif polyester reçine kullanılmıştır. Reçine oranı %75 epoksi ve %25 sertleştirici olarak karışım yapılmıştır. 400 µm boyutunda %10, %15 ve % 20 oranında SiC ilavesi reçine içerisine karıştırılmıştır. SiC ilavesiz reçine ile üretilen numuneler de aynı şartlar altında imal edilmiştir. Numune üretimleri, Pamukkale Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında kurulmuş olan vakum infüzyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de vakum infüzyon sistemi ile numune elde sürecine ait laboratuvar üretim süreci görülmektedir.



Şekil 1. a) Vakum infüzyon sistemine ait ekipmanlar, b) Üretilen karbon kompozit numune (a)Equipment for vacuum infusion system, b) Produced carbon composite sample

Çalışma kapsamında 250x250 mm boyutlarında 3 katlı karbon kumaş serimi yapılarak elde edilen plaka imalatı 72 saat kürlenme süresinde oda sıcaklığında tamamlanmıştır. Tüm numuneler ASTM D3039 Standardına uygun olarak 25x250x0,6 mm ölçülerinde kesilmiştir [10]. Takviyesiz ve SiC takviyeli olacak şekilde her numune grubundan 5 adet numunenin çekme deneyleri ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Çekme deneyleri Pamukkale Üniversitesi Metalurji ve

Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan 10 ton kapasiteli SHIMADZU HARDWAY çekme deney cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Sertlik değerlerinin tespiti için Denizli Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren DEBAK A.Ş firmasının Ar-Ge laboratuvarında bulunan Zwick Roell Marka ZHR dokunmatik Universal Rockwell sertlik ölçüm cihazında ISO 2039-2 standardına uygun olacak şekilde 60 kgf yük altında ölçümler yapılmıştır (Şekil 3) [11].



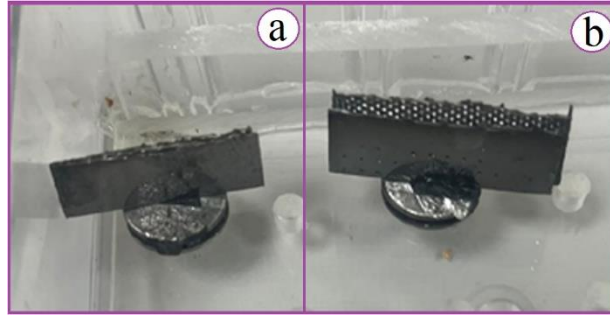
Şekil 2. SHIMADZU HARDWAY çekme deney cihazı (SHIMADZU HARDWAY tensile test device)



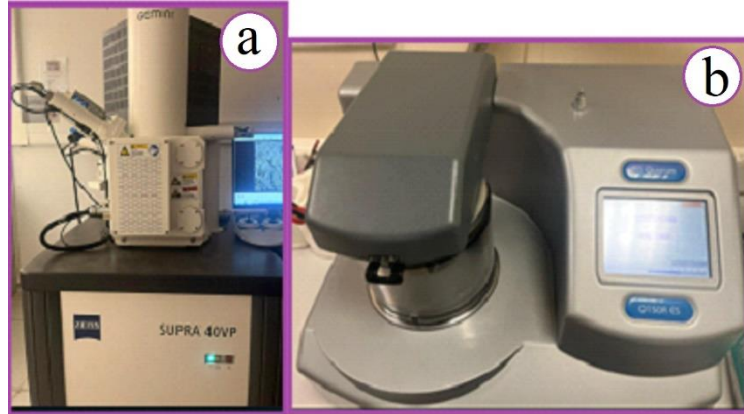
Şekil 3. Zwick Roell rockwell sertlik ölçüm cihazı (Zwick Roell rockwell hardness tester)

Mekanik dayanımın içyapıya bağlı değişiminin gözlemlenebilmesi için Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) görüntüleri ve Element Dağılım Spektrometresi (EDS) değerleri alınmıştır. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin kırılma bölgelerinden hazırlanan numune kesit parçaları için Pamukkale Üniversitesi Merkez Laboratuvarlarında bulunan Quorum 150R ES cihazıyla elektrik iletkenliği sağlayabilmek için

öncelikle altın ve paladyum bileşimi ile 30 dakika kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama işleminden sonra görüntüleme süreçlerinde ZEISS marka SUPRA 40VP model FESEM cihazı ve FESEM cihazı üzerinde yer alan yarı kantitatif ölçüm yapan EDS analizleri yapılmıştır. Şekil 4’de çekme deneyi sonrasında kopma bölgesinden alınarak inceleme öncesi Altın Paladyum kaplama yapılmış karbon kompozit numunelere ait örnekler görülmektedir.



Şekil 4. a) %10 SiC Takviyeli, b) Takviyesiz karbon kompozit kesit örneklerinin kaplama sonrası görüntüleri (a)10% SiC Reinforced, b)Post-coating images of unreinforced carbon composite cross-section samples)

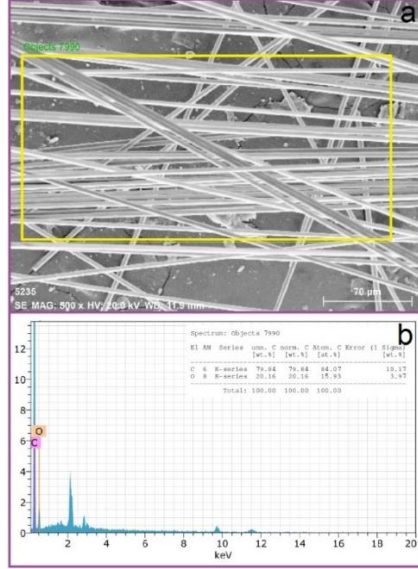


Şekil 5. a) ZEISS SUPRA 40VP FESEM Cihazı b) Quorum 150R ES yüzey kaplama cihazı (a)ZEISS SUPRA 40VP FESEM device, b) Quorum 150R ES surface coating device)

3. BULGULAR (RESULTS)

Şekil 6'da karbon imalatı sürecinde kullanılan dokuma karbon kumaşlarda kullanılan liflere ait FESEM görüntüsü ve görüntü üzerinden alınmış EDS pik ve element dağılımları oranları yer

almaktadır. Şekil 6 incelendiğinde yapıda bulunan element dağılımlarının ağırlıkça C içeriğinin %79.84 ve O içeriğinin ise %20.16 olduğu görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçları karbon içeriğine ait olduğunu göstermektedir [12].

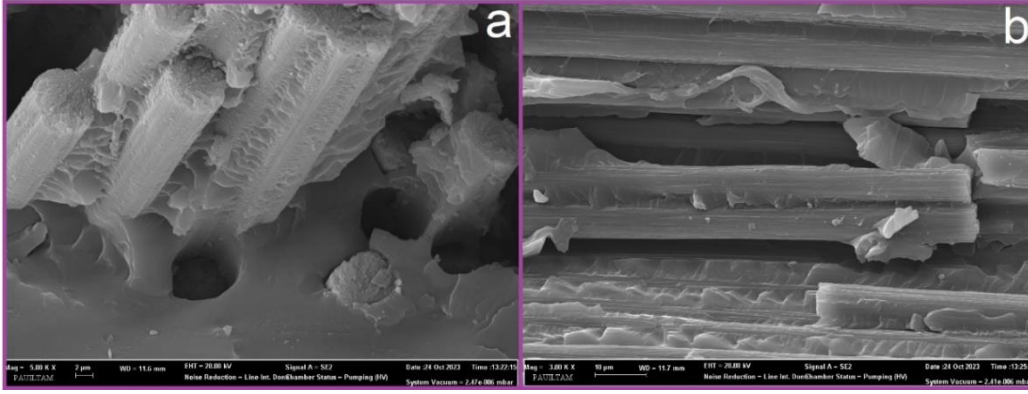


Şekil 6. Karbon elyaf FESEM görüntüsü ve EDS analizi (Carbon fiber FESEM image and EDS analysis)

Şekil 7'de 200g/m² plain dokuma karbon kumaş ile epoksi takviyeli karbon kompozitin çekme deneyi sonrası kopan bölgesinden alınan a) dik eksendeki, b) yatay eksendeki FESEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 7.a incelendiğinde kopan karbon lifler ile epoksinin gerekli ıslanabilirliği sağladığı, karbon lif ile epoksinin tam olarak yeterli homojenlikte birleşim sağladığı görülmüştür. Kopma anında karşı parçada kalan lifler ile epoksi üzerinde görülen dairesel bölgelerde tam olarak bütünleşmiş bir yapı oluştuğunu görülmektedir.

Çekme deneyi sırasında belli liflerdeki kopmalar epoksi yüzeyinde görülmektedir. Şekil 7.b incelendiğinde yatay formdaki lifler ile epoksinin birbiri içerisinde doğru dağılımda olduğu görülmektedir. Bu da epoksi ile lif arasındaki

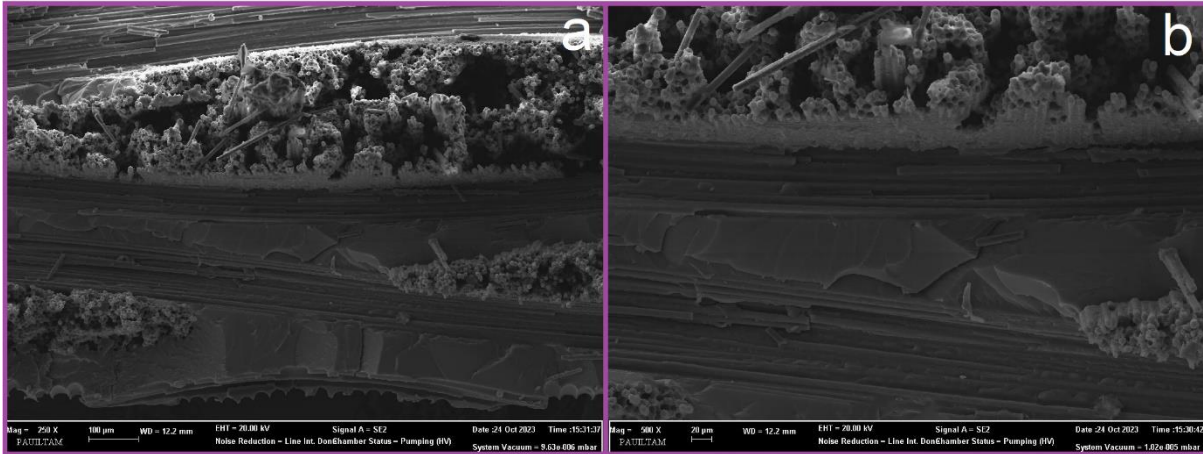
ıslanabilirliğin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu aşamada epoksi ile karbon lif arasında yeterli adezyon kuvvetinin oluştuğu söylenebilir. Bu durum yapının çekme mukavemetini olumlu etkilemektedir [13].



Şekil 7. Takviyesiz epoksi ile üretilen karbon kompozit yapının çekme testi sonrası kesit bölgesinin a) Dik FESEM görüntüsü, b) Yatay FESEM görüntüsü (The cross-sectional area of the carbon composite structure produced with unreinforced epoxy after the tensile test a) Vertical FESEM image, b) Horizontal FESEM image)

Şekil 8’de 200g/m^2 plain dokuma karbon kumaş ile SiC takviyeli epoksi ile imal edilmiş karbon kompozitin çekme deneyi sonrası kopan bölgesinden alınan FESEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 8.a incelendiğinde kopan karbon lifler ile epoksinin gerekli ıslanabilirliği sağladığı, karbon lif ile epoksinin tam olarak birleşim sağladığı görülmüştür. Karbon lif bölgesinin hemen alt kısmında yapıya ilave edilen SiC takviyeleri görülebilmektedir. SiC takviyeleri, keskin köşeli olarak görülmekte olup, gerekli takviyelerin incelemesi için Şekil 8’de yer alan FESEM görüntüleri alınmıştır. Görüntülerde SiC’ün sert

keskin yapısının epoksi ve lifler içerisinde homojen dağıldığı ve yeterli ıslanabilirlik sayesinde tam birleşme bölgeleri elde edilebildiği görülmektedir. Bu durum SiC için epoksi ile yeterli kohezyon bağlantısının kurulmasının yanı sıra lif ile epoksi arasında yeterli adezyon kuvvetlerinin oluştuğunu göstermektedir [13].



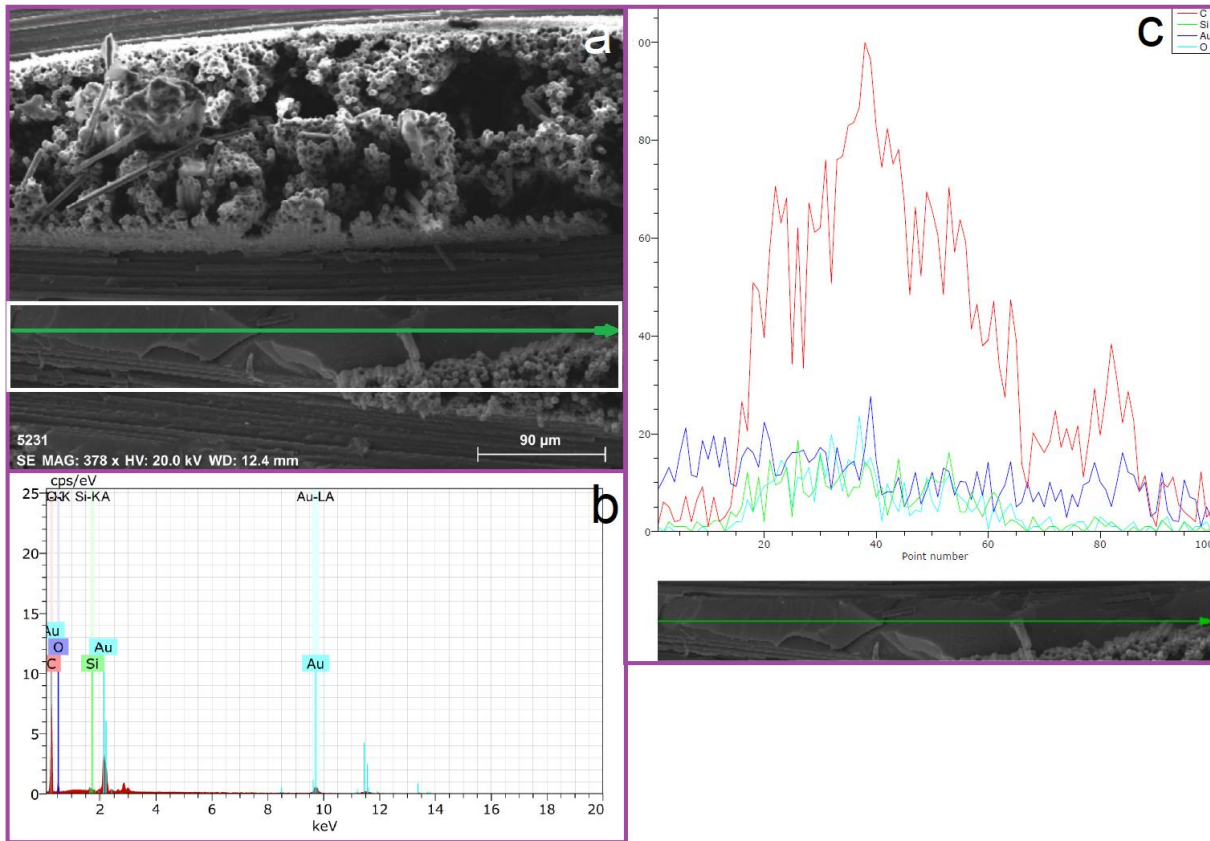
Şekil 8. %10 SiC takviyeli karbon kompozit yapının çekme testi sonrası kopma kesit bölgesine ait a) 250X, b) 500X büyütme FESEM görüntüleri (The fracture section area of the 10% SiC reinforced carbon composite structure a) 250X, b) 500X after the tensile test magnification FESEM images)

Şekil 9’da %10 SiC takviyeli karbon kompozit yapının çekme deneyinden elde edilen kopma kesit bölgesinin detaylı analizi yapılmıştır. Çalışma

kapsamında en iyi mukavemet değerleri %10 SiC takviyeli karbon kompozit numunelerde görüldüğü için ayrıntılı görüntüler bu oranda takviye edilmiş

karbon kompozit kopma numunesine ait örnek üzerinden alınmıştır. Şekil 9.a FESEM görüntüsü ve b FESEM görüntüsü üzerinden alınan (yeşil okun geçtiği bölgeye aittir) element şiddetleri, c’de ise ok ile gösterilen bölgeye ait çizgisel element dağılım şiddetleri yer almaktadır. Şekil 9.b’de yapıya ait pikler incelendiğinde; Au, C, O ve Si elementlerine ait pikler yer almaktadır. Yapıdaki Au, oluşturulan takviye üzerindeki iletim amaçlı kompozit numunelerin yüzeylerinde yer alan altın paladyum kaplamadan gelmektedir. Si ve C yapıda takviye edilen SiC takviyesinden gelmektedir. O elementinin yapıda karbon içeriğinden dolayı doğrudan geldiği bilinmektedir [14]. Şekil 9.c incelendiğinde ise, FESEM görüntüsü üzerinden alınmış ok ile gösterilen (Yeşil ok) bölgeden çizgisel EDS analiz pik şiddetlerini göstermektedir.

Yapıda C, Si, Au ve O pikleri ve element dağılımlarının çizgi boyunca şiddetleri yer almaktadır. Şekil 9’da görüldüğü üzere C içeriğinin yoğunlukta olduğu ve yapıdaki özelliklerin SiC takviyelerinde şiddetinin arttığı görülebilmektedir. Yapı incelendiğinde ilave edilen takviyelerin istenilen ıslanabilirlik ve ara yüzeyleri oluşturduğu söylenebilir. Bu sayede ise yapıdan beklenen gerekli mukavemet ve mekanik özelliklerin elde edildiği anlaşılmaktadır [15]. Karbon kompozit yapıda istenilen takviyelerin, istenilen homojenlikte ve ıslanabilirlikte kompozit yapı içindeki dağılımı sağladığı ve özellikle SiC takviyesi ile kompozit yapılarda istenilen mekanik özelliklerin iyileştirilmesine doğrudan katkı yaptığı söylenebilir [16].



Şekil 9. SiC Takviyeli numuneye ait, çekme sonrası dik kesit görüntüsüne ait a) FESEM görüntüsü, b) FESEM görüntüsüne ait EDS pikleri, c) FESEM görüntüsü çizgisel EDS şiddetleri (a) FESEM image of the vertical section image of the SiC Reinforced sample after tensile, b) EDS peaks of the FESEM image, c) Linear EDS intensities of the FESEM image)

Çalışma kapsamında %10 SiC ilavesiyle elde edilen numuneler sertlik, mekanik dayanım ve iç yapı incelemelerine göre değerlendirildiğinde alıştırdırılan numunelerin daha yüksek dayanım

sergilediği görülmüştür. Burada yapılan değerlendirmede çekme deneyinde elde edilen sonuçlar Tablo 1’de yer almaktadır

Tablo 1. Çekme deneyi sonuçları (Tensile test results)

Çekme Deney Kompozit İçeriği	Numune 1 (MPa)	Numune 2 (MPa)	Numune 3 (MPa)	Numune 4 (MPa)	Numune 5 (MPa)	Ortalama (MPa)
Takviyesiz karbon kompozit	178	189	159	200	183	182
%10 SiC Takviyeli karbon kompozit	268	238	247	272	260	257
%15 SiC Takviyeli karbon kompozit	200	202	190	185	180	191
%20 SiC Takviyeli karbon kompozit	188	105	143	130	147	143

Çekme deneyi yapılan numunelerde Tablo 1’ de belirtilen sıralamayla 5’er adet numune üzerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her numunenin 6 farklı bölgesinden alınan sertliğin ortalama değerleri Tablo 2’ de verilmiştir. Çekme deneyinde görülen dayanım artışları ile orantılı olacak şekilde

sertlik artışları da tespit edilmiştir. Sonuçlar kıyaslandığında en iyi sonuçların %10 SiC ilavesi sayesinde lifler ve epoksi arasında oluşan yapısal bağ ile sertlik ve rijitlik açısından bir artış sağlandığı söylenebilir.

Tablo 2. Rockwell sertlik testi sonuçları (Rockwell hardness test results)

Rockwell Sertlik Deneyi Kompozit İçeriği	Numune 1 (Sertlik-Derinlik)	Numune 2 (Sertlik-Derinlik)	Numune 3 (Sertlik-Derinlik)	Numune 4 (Sertlik-Derinlik)	Numune 5 (Sertlik-Derinlik)	Ortalama (Sertlik-Derinlik)
Takviyesiz karbon kompozit	63.2 HRH 135.1 μm	65.2 HRH 131.2 μm	57,4 HRH 144.1 μm	52.8 HRH 155.8 μm	63.4 HRH 134.7 μm	60,4 HRH 140,16 μm
%10 SiC takviyeli karbon kompozit	82.7 HRH 99.2 μm	72.8 HRH 104.3 μm	78.7 HRH 119.8 μm	85.3 HRH 89.7 μm	92.2 HRH 78.2 μm	82,4 HRH 98,24 μm
%15 SiC takviyeli karbon kompozit	75.2 HRH 111.8 μm	78.2 HRH 103.5 μm	65.2 HRH 123.6 μm	68.2 HRH 121.2 μm	75.2 HRH 109.9 μm	78,4 HRH 114 μm
%20 SiC takviyeli karbon kompozit	56.2 HRH 147.1 μm	68.2 HRH 125.5 μm	61.2 HRH 138.3 μm	65.3 HRH 133.2 μm	67.2 HRH 130.2 μm	63,6 HRH 134,86 μm

Malzemenin iç yapı görüntüleri incelendiğinde SiC ilavesinin epoksi içerisinde dağılımları incelenmiş ve karbon fiber ile uyumlu şekilde bir ıslanabilirlik sağladığı gözlenmiştir. Özellikle ilave edilen oranlar arasında karşılaştırma yapıldığında %10 SiC ilavesi yapılan numuneler için ortalama sertlik değerinin %15 ve %20 SiC ilaveleri yapılan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Karbon fiberin sahip olduğu yüksek dayanımın SiC ilavesi ile hem dayanım artışı hem de sertlik artışı sağladığı söylenebilir. Takviyesiz karbon kompozitte elde edilen ortalama sertlik değeri 60,4 HRH değerinde ölçümlenmiş iken %10

SiC takviyeli epoksi ile üretilmiş olan karbon kompozitler için ortalama sertlik değerinin 82,4 HRH değerine çıktığı görülmüştür. SiC ilavesinin artmasıyla hem dayanım hem sertlik artışının durumunu gözlemlemek için takviye oranı %15 ve %20 oranlarına arttırılarak numune üretimi yapılmıştır. %10 SiC takviyeli epoksi ile üretilmiş karbon kompozit numunelerde çekme dayanımı ve sertlik artışı net olarak görülmüştür. SiC oranı arttırılarak malzemedeki dayanım değerlerinin incelenmesi sağlanmıştır. Bu aşamada SiC oranı % 15’e çıkarıldığında mukavemet kısmen yüksek kalsa da takviye oranı arttıkça çekme dayanımı ve

sertlik değerlerinin önemli oranda azaldığı söylenebilir. Burada epoksi ve SiC partiküllerinde oluşan kimyasal bağ sürecinin epoksi içerisinde SiC'ün oransal artışının, sertlik etkisindeki azalmaya bağlı olarak, takviye malzemenin epoksinin malzeme yapısının ıslanabilirliğini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Takviye edilen SiC oranındaki artış ile epoksinin yapısal birleştirme özelliğini kaybetmeye başladığı ve kompozit yapının dayanımında genel bir azalma olduğu görülmüştür. Islanabilirliğin tam sağlanmadığı durumda matris ve fiber yapının tam olarak tutunması ve homojen dağılımı istenmeyen bir yapıya dönüşebilmektedir. Bu durum genel olarak mukavemeti azaltır.

Karbon kompozit malzemede epoksi ile birlikte imal edilen kompozitler için epoksinin ömrüne

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında ilave edilen SiC takviyesi dışında farklı takviyeler ile kompozit yapılarda mukavemet artışları sağlanabildiği bilinmektedir. Bu aşamada SiC gibi kompozitte dayanım artışı sağlayabilecek; B₄C, Al₂O₃ elementlerinin yanında Mg ilavesi ile birlikte kompozit malzemelerin dayanımlarının artırılabilirliği ve daha uzun süreli iyi mukavemet değerleri göstermesi sağlanabilmektedir [18]. Bu amaçla sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Katkı maddesi ilavesinin matris ve fiber arasında ıslanabilirliğin iyileştirilmesinde etkili olabilmesi için, katı malzeme yüzeyindeki enerjinin artırılması, reçine ile fiber arasında oluşan yüzey geriliminin azaltılabilmesi ve katı ile sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması sağlanmalıdır [19]. Bu çalışma kapsamında kullanılan %10 SiC ilavesiyle bu durumu destekleyebilecek şekilde mukavemet ve sertlik değerlerinde olumlu artışlar görülmüştür.
- Takviyesiz karbon kompozit numunelerin ortalama çekme dayanımları 182 MPa iken %10 SiC takviyeli numunelerde çekme dayanımı ortalama 257 MPa değerine yükselmiştir. Ayrıca bu durum sertlik açısından da polimer matrisin oluşturabildiği sertlik değerlerine olumlu katkı sunmuştur. Polimer matris

bağlı olarak zamanla dayanımda azalma olduğu bilinmektedir. Karbon fiber yapı birçok farklı çevresel koşulda yüksek dayanım sağlıyor olsa da polimer bazlı bir matris ile birleşim sonrasındaki kullanımı ekonomik ömrü içinde mukavemetini olumsuz etkileyebilir. Bu aşamada karbon kompozitin imalatı sürecinde eklenen katkı maddeleri ile epoksinin oluşturması muhtemel dayanım düşüşünü olumlu yönde destekleyebilecek yapıda elementler ile karbon kompozitin ömrünü uzatmak ve dayanıma olumlu katkı yapılması mümkündür [17]. Bu çalışma kapsamında SiC ilavesiyle epoksiye dayanım açısından avantaj sağlayabilmek için yapılan farklı oranlardaki takviyeler içinde %10 SiC ilaveli epoksi matris için öngörülen mukavemet ve sertlik artışı sağlanmıştı

oluşumunda seramik, metal vb. katkıların rolü önemlidir [20].

- Katkısız karbon kompozit numunelerde ortalama sertlik değeri 60,4 HRH değerinde iken %10 SiC takviyeli numunelerde ortalama sertlik değeri 82,4 HRH değerine kadar yükselmiştir.
- Farklı içerikte kullanılacak katkı maddeleri ile kompozit dayanımına olumlu etki yaratabilmek için ilave edilecek katkı maddelerinin parçacık büyüklükleri, parçacıklar arası mesafe ve homojen dağılımın düzenli olması önem arz etmektedir. Böylece katkı maddesinin hem matris yapı hem de takviye elementleri için olumlu birleştirme alanları oluşturması, ara yüzeylerdeki kuvvetler sayesinde boşluksuz ve homojen dağılım oluşturulması sağlanabilir [21].
- Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da ilave edilen takviyenin kompozit içerisindeki yapılar ile uyumlu bir bütün oluşturmasıdır.

Genel olarak çalışma değerlendirildiğinde; SiC takviyesinin, üretilen kompozit malzeme için mukavemet ve sertlik artışı sağladığı görülmektedir. SiC takviyesi ile kompozit imalatında epoksinin uyum sağlaması önem arz etmektedir. Bu çalışmada ilave edilen takviyenin kompozit içinde özellikle ıslanabilirlik açısından içyapıda yeterli bağlanmayı sağlayabildiği tespit edilmiştir. Takviye SiC oranının %10 ve altında olması

üretmiş olan kompozitlerde ıslanabilirlik ve mukavemet artışı sağlamıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışma kapsamında numunelerin sertlik ölçümlerini alabilmemiz için Ar-Ge departmanından destek aldığım DEBAK DENİZLİ BAGALİT KALIP SANAYİ VE TİC. A.Ş. firmasına ve Faruk İNCEOĞLU'na teşekkür ederim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Sidem KANER: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chung, Deborah DL. Carbon Fiber Composites. Butterworth/Heinemann. 1994.
- [2] Karol HB, Ürkmez Taşkın N. Farklı takviye malzemeleri ilave edilmiş karbon fiber kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının analiz edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2019.
- [3] An JE, Jeon GW ve Jeong YG. Preparation and properties of polypropylene nanocomposites reinforced with exfoliated graphene. *Fibers And Polymers*. 2012; cilt 13, no. 4, 507-514.
- [4] Tiyek İ, Dönmez U, Yıldırım B, Alma MH, Ersoy MS, Karataş Ş, Yazıcı M. Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Young*. 2016, 100000 (13000), 0-56.
- [5] Gülcan E. Karbon dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi. 2019.
- [6] Campbell Jr, FC. (Ed.). *Manufacturing processes for advanced composites*. Elsevier, 2003.
- [7] İşlek G. Kendi kendini onaran karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. 2022.
- [8] Kaya Aİ. Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*. 2016; 29.
- [9] Uçak MY. Tabakalı karbon elyaf kompozit malzemelerde nano boyutta SiC, NiO, kil ve karbon tüp partikül katkılarının mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi. 2018.
- [10] ASTM D3039 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [11] ISO 2039-2:2020 Plastics Determination of hardness Part 2: Rockwell hardness.
- [12] Buckley JD, Edie DD. Carbon-carbon materials and composites. William Andrew. 1993.
- [13] Stamm M. *Polymer Surfaces and Interfaces*, Ch.1, Springer, 2007.
- [14] Park SJ. *Carbon fibers*. Springer, Holland. 2015.
- [15] Soy U. SiC/B₄C Takviyeli Metal Matriks Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi. 2009.
- [16] Güler C. Alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2012.
- [17] Wei H, Xia J, Zhou W, Zhou L, Hussain G, Li Q, Ostrikov KK. Adhesion and cohesion of epoxy-based industrial composite coatings. *Composites Part B: Engineering*. 2020; 193, 108035.
- [18] Gemci R. Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 2002; Cilt 7/1.
- [19] Kaner, S. Plastik malzemelerin yapılandırılmasında yüzey işlemleri ve yaşlandırma etkisinin incelenmesi. 2017; 25-40, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] Kaplan Y. Role of reinforcement materials on mechanical and tribological properties of PTFE composites. 2020; *폴리머*, 44(4), 436-444.
- [21] Erdoğan UH, Yasemin S, Kılıç GB. Kompozit Liflerde Takviye Malzemesi Dağılım ve Homojenliğinin Floresans Mikroskop ile Kontrolü. 1.Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, 2016; 37.